




METHOD AND APPARATUS FOR REACTIVE SPUTTERING

Patent number: JP8041636
Publication date: 1996-02-13
Inventor: JIEFU SHII SERAAZU
Applicant: ENI INC
Classification:
- international: C23C14/34; C23C14/38
- european:
Application number: JP19950150301 19950616
Priority number(s): US19940261988 19940617

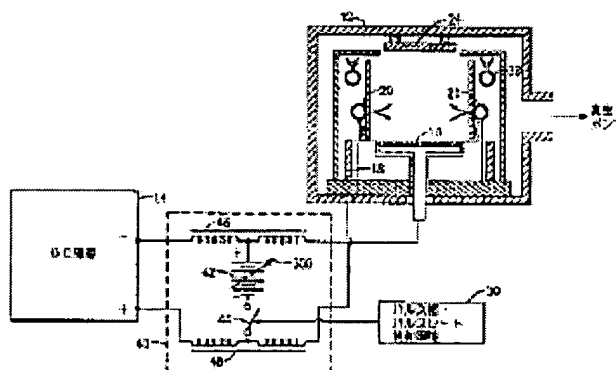
Also published as:

 EP0692550 (A1)
 US5651865 (A1)
 EP0692550 (B1)

Abstract not available for JP8041636

Abstract of correspondent: **EP0692550**

Pulses of positive voltage are applied to the target of a dc sputtering process to create a reverse bias. This charges insulating deposits on the target to the reverse bias level, so that when negative sputtering voltage is reapplied to the target, the deposits will be preferentially sputtered away. The reverse bias pulses are provided at a low duty cycle, i.e., with a pulse width of 0.25 - 3 microseconds at a pulse rate of about 40 - 100 KHz. This technique reduces sources for arcing during a reactive sputtering process.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-41636

(43) 公開日 平成8年(1996)2月13日

(51) Int.Cl.⁶C 2 3 C 14/34
14/38

識別記号

S 8939-4K
8939-4K

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-150301

(22) 出願日 平成7年(1995)6月16日

(31) 優先権主張番号 2 6 1 9 8 8

(32) 優先日 1994年6月17日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 592139027

イーエヌアイ、ア ディビジョン オブ
アステック アメリカ、インコーポレイテ
ィド
アメリカ合衆国、ニューヨーク 14623-
3498, ロチェスター、ハイ パワー ロー
ド 100

(72) 発明者 ジェフ シー、セラーズ

アメリカ合衆国、ニューヨーク 14522,
バルミラ、ウォーカー ロード 1748

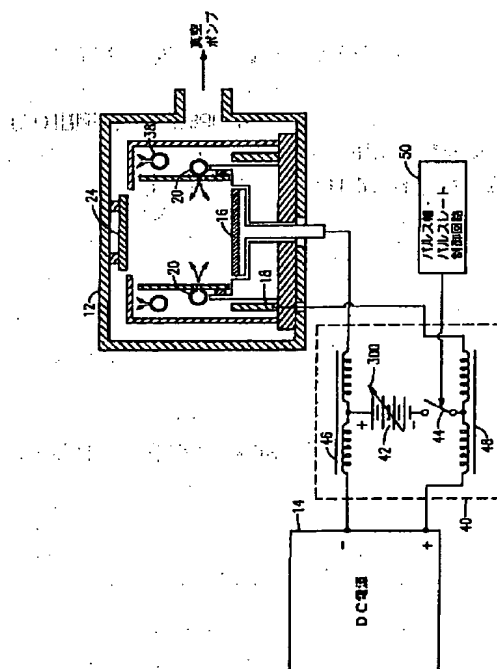
(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外2名)

(54) 【発明の名称】 反応性スパッタ方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 反応性スパッタ法におけるアーク発生を防止する。

【構成】 直流スパッタ時にターゲットに正電圧のパルスを印加して逆バイアスを生成させる。それによりターゲット上の絶縁堆積層を同じ逆バイアスレベルに帯電させ、その結果、負のスパッタ電圧をターゲットに印加したときに、絶縁堆積層が優先的にスパッタされて除去される。この逆バイアスパルスは低い動作周期すなわちパルス幅1~3マイクロ秒、パルスレート約40~100 kHz で印加する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラズマチャンバ内で、導電性ターゲットをスパッタしてターゲット材料を放出させ、該チャンバ内の反応性ガスと反応させ、生成した化合物を基材上に堆積させる反応性スパッタ方法であって、該ターゲットと該チャンバ内のアノードとの間に、該ターゲットから該ターゲット材料の原子を解放するのに十分なエネルギーで貴ガスイオンを該ターゲットに衝突させるレベルの直流電圧を印加する工程、および該反応性ガスを該チャンバ内に導入して該ターゲット材料の解放

された原子と反応させる工程を含み、該直流電圧を印加する工程において、該アノードを基準として所定レベルの負の電圧を該ターゲットに印加し、且つ該アノードを基準として正の電圧のパルス所定パルスレートおよび所定パルス幅で周期的に該ターゲットに印加することにより、該ターゲット上に堆積している該化合物の蓄積層を、該化合物の分子を該ターゲットから解放するのに十分なエネルギーを持つ該貴ガスイオンで叩く反応性スパッタ方法。

【請求項 2】 該負の電圧が実質的に 300~700V であり、該正の電圧が実質的に 50~300V である請求項 1 記載の反応性スパッタ方法。

【請求項 3】 該正の電圧のパルスはパルス幅が 1 マイクロ秒~3 マイクロ秒である請求項 1 記載の反応性スパッタ方法。

【請求項 4】 該パルスレートが 40 kHz~200 kHz である請求項 1 記載の反応性スパッタ方法。

【請求項 5】 ターゲット材料を反応性ガスと反応させ、生成した化合物を基材上に堆積させる反応性スパッタ用直流プラズマ装置であって、直流プラズマチャンバであって、該ターゲット材料で作られていてカソードとして機能するスパッタ用ターゲットと、該チャンバ内に形成されたアノードと、該反応性ガスを該チャンバ内に導入する手段とを収容した直流プラズマチャンバ、

直流電源であって、該ターゲット材料の解放された原子が該反応性ガスと反応して該化合物を生成するように、該ターゲット材料の原子を該ターゲットから解放するのに十分なエネルギーを持つ貴ガスイオンを該チャンバ内で該ターゲット衝突させる所定レベルの負の電圧を該ターゲットに付与する直流電源、および逆バイアス手段であって、該直流電源と該プラズマチャンバとの間の回路内に挿入されていて、該ターゲット上に堆積している該化合物の蓄積層を、該化合物の分子を該ターゲットから解放するのに十分なエネルギーを持つ該貴ガスイオンが叩くように、該アノードを基準として該所定レベルの該負の電圧を該ターゲットに印加し且つ該アノードを基準として正の電圧のパルスを所定パルスレートおよび所定パルス幅で周期的に該ターゲットに印加する逆バイアス手段、を備えた反応性スパッタ用直流プラズマ装置。

2

【請求項 6】 該直流電源が 300~700V のレベルの該負の電圧を供給し、該逆バイアス手段が 50~300V のレベルの該正の電圧パルスを供給する請求項 5 記載の反応性スパッタ用直流プラズマ装置。

【請求項 7】 該逆バイアス手段が 1 マイクロ秒~3 マイクロ秒のパルス幅の該正の電圧パルスを供給する請求項 5 記載の反応性スパッタ用直流プラズマ装置。

【請求項 8】 該逆バイアス手段が 40 kHz~200 kHz のパルスレートの該正の電圧パルスを供給する請求項 5 記載の反応性スパッタ用直流プラズマ装置。

【請求項 9】 プラズマチャンバ内で、導電性ターゲットをスパッタしてターゲット材料を放出させ、基材上に堆積させる直流スパッタ方法であって、該ターゲットとアノードとの間に、該ターゲットから該ターゲット材料を解放するのに十分なエネルギーで貴ガスイオンを該ターゲットに衝突させるレベルの直流電圧を印加する工程を含み、

該直流電圧を印加する工程において、該アノードを基準として所定レベルの負の電圧を該ターゲットに印加し、且つ該アノードを基準として正の電圧のパルスを該ターゲットに印加することによって、該ターゲットから該化合物の分子を解放するのに十分なエネルギーで該貴ガスイオンが該ターゲット上の絶縁化合物の蓄積層を叩くようにする直流スパッタ方法。

【請求項 10】 該負の電圧が実質的に 300~700V であり、該正の電圧が実質的に 50~300V である請求項 9 記載の直流スパッタ方法。

【請求項 11】 該正の電圧のパルスはパルス幅が 1 マイクロ秒~3 マイクロ秒である請求項 9 記載の直流スパッタ方法。

【請求項 12】 該パルスレートが 40 kHz~100 kHz である請求項 9 記載の直流スパッタ方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、薄膜の堆積方法に関し、特に、ターゲット材料の原子を導電性ターゲットから解放し、反応性ガスと反応させて形成した皮膜を基材上に堆積させる反応性スパッタ法に関する。これは、例えば電気部品の表面に誘電絶縁層を形成したり、機械部品の表面に耐摩耗層を形成したりするのに用いられる。

【0002】更に詳しくは、本発明は、導電性ターゲットに付着した誘電皮膜材料を除去することによって、アーク発生の主要原因を回避する直流スパッタ方法に関する。スパッタ法は真空堆積法の一つであり、スパッタ用ターゲットをイオン（典型的にはイオン化した貴ガス）で叩き、運動量移動によりターゲット材料の原子を機械的に解放する。このターゲット材料が近くの基材を被覆する。

【0003】

【従来の技術】反応性スパッタ法においては、反応性ガ

3

スを堆積チャンバに導入し、解放されたターゲット材料をこの反応性ガスと反応させて皮膜材料を形成する。例えば、ターゲット材料としてアルミニウムを用い、反応性ガスとして酸素を導入して、酸化アルミニウムの皮膜を生成することができる。反応性ガスとして、アセチレン等の炭素質ガスをを用いてSiC、WC等の炭化物皮膜を生成したり、アンモニアを導入してTiN等の窒化物皮膜を生成したりすることができる。いずれの場合にも、導電性ターゲットの原子と反応性ガスとがチャンバ内のプラズマ中で反応して、皮膜として機能する化合物を生成する。一つの典型例としては、アルミニウムのターゲットから解放されたアルミニウム原子が、アルゴンと酸素のプラズマ内に進入して、酸化アルミニウムの堆積層を生成する。

【0004】直流スパッタはランダムなプロセスであり、絶縁皮膜材料はその場にある表面の全てに堆積する。すなわち、絶縁材料は対象としている品物だけでなく、チャンバ内にあるターゲットを含めた全ての表面を被覆する。そのため、反応性スパッタで酸化アルミニウムの堆積を行う際には、 Al_2O_3 の分子がアルミニウムのターゲットの表面にも堆積する。このようにしてターゲット表面に絶縁物が堆積すると、スパッタ速度が低下したり、アークが発生し易くなる等の重大な問題の原因になる。

【0005】従来の直流スパッタでも、大気中のガス、水滴、混入物質等の汚染源によってターゲットの汚染が発生することがある。これら汚染源はいずれもアーク発生の原因となり、その存在によってターゲット上の有効スパッタ面積が減少するため堆積速度も低下する。このような問題があるので、ターゲット表面のクリーニングを頻繁に行うことが必要になる。

【0006】このような問題があるということは知られてはいたが、その原因については十分に把握されていなかった。反応性スパッタにおいてアーク発生を制御する等の対策がとられたが、これまでに十分満足な効果は得られていない。標準的な対策の一つとして、アークの発生を検知し、電流の流れを遮断する方法がある。これによりアークは制御できるが、ターゲットが絶縁皮膜で被覆されることは何ら解消されない。

【0007】初期に試行錯誤的に行われた一つのアーク対策は、直流電源とスパッタを行うプラズマ発生装置との間の電流を周期的に遮断するものであった。このように直流電源を切ると初期のアーク発生を解消する作用がある。すなわち一定動作周期の単一極性パルス電源がターゲットに供給される。その利点は、ターゲット上の誘電堆積層の一部だけで電荷の蓄積が起きるので、アークが発生し難くなり、堆積層のスパッタを少量にすることもできる。しかしこの方法は、ターゲット上への絶縁物の堆積速度を減少はするが、堆積を逆転はしない。

【0008】もう一つの従来法は、低エネルギー小パ

4

ケージアーク抑制回路と呼ばれる。この方法においては、電子スイッチが2KHz程度のサイクルで作動してターゲットへの電流を切断する。これによりターゲット上の電圧がプラス数ボルトまで実質的に逆転し、プラズマの電子の一部を絶縁堆積層の上面へ引きつける。それによって堆積層上面のアニオンが中和され、層に蓄積した電圧を放出し、誘電層のブレイクダウンとアーク発生を大幅に減らす。また、絶縁層上面の放電によって、表面電位がほぼターゲット電位にまで低下する。また、誘電堆積層の放電により、プラズマ中のアルゴンイオンが絶縁誘電材料と衝突することができるようになる。その結果、堆積した材料の分子の再スパッタが起きて、ターゲット上への堆積速度が低下する。

【0009】しかしこの方法では、堆積化合物の分子のスパッタはターゲット材料の原子ほどには多量に起きないので、反応性スパッタ中にターゲット上の堆積層を除去するトータルの効率は低い。異なる材料でスパッタを行うには、スパッタ用ターゲットに印加する電圧も変える必要がある。例えば、金の原子はアルミニウムの原子に比べて非常に重いので、ターゲットから金原子を解放するにはイオンのエネルギーを非常に大きくする必要がある。典型的には、アルミニウムのターゲットを用いるプロセスでは、必要な印加電圧は約450Vであるのに対して、金のターゲットを用いた同様のプロセスでは印加電圧を約700Vにしなければならない。

【0010】酸化アルミニウム(Al_2O_3)分子がアルミニウム原子に比べて非常に重いことを考えれば、 Al_2O_3 皮膜を再スパッタするのに十分なエネルギーをアルゴンイオンに付与するには高い電位が必要になることが分かる。もちろん、このことは他の材料についても同様である。もう一つの解決策として、スパッタ用ターゲットを2つ使い、一方をカソードとし、他方をアノードとする方法がある。印加電圧を周期的に逆転させて、両方のターゲットで交互にスパッタを行わせる。この方法においても、堆積した絶縁材料上の電荷が逆転し、アーク発生の頻度が減少し、各ターゲット上の絶縁材料の再スパッタも起きる。しかしこの装置は複数のターゲットを必要とするため、実用するには煩雑で高価である。

【0011】上記従来の解決策は、単一極性パルス電源を用いたり、複数ターゲットを交互用いることにより、ターゲット上に再堆積した絶縁膜上の電圧ストレスを低減するには有効であったが、再堆積層の除去あるいは再堆積の防止には有効でなかった。上記従来の方法では、絶縁層を蓄積する以前に最初からスパッタ除去することはできず、ターゲット上への絶縁膜の堆積を防止することも停止させることもできなかった。

【0012】本発明は、上記従来の課題を解決しようとするものである。

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的の一つは、導電性ターゲット上への絶縁堆積層の蓄積を回避する

5

るように反応性スパッタを改良することである。本発明のもう一つの目的は、アーク発生源を無くした条件下で反応性スパッタを行い、スパッタ速度を最大化することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の一態様によれば、ターゲットをスパッタして放出させたターゲット材料を、プラズマチャンバ内に導入された反応性ガスと反応させるように、プラズマチャンバ内で導電性ターゲットに電位を印加することによりプラズマチャンバ内で反応性直流スパッタを行う。プラズマチャンバ内の導電性表面を接地電位に保持してアノードとして作用させ、適当なレベル例えば -500V の直流電圧を電源からスパッタ用ターゲットに印加する。チャンバ内にある貴ガス例えばアルゴンをイオン化してプラズマ例えばアルゴン陽イオンと自由電子を生成する。電子はアノード中に引き込まれ、アルゴン陽イオンはカソードすなわち導電性ターゲットへ向けて加速される。アルゴンイオンは運動量移動によりターゲットからターゲット材料の原子を叩き出す。アルゴンイオンは負に帯電したターゲットから電子を拾い上げてプラズマへ戻る。解放されたターゲットの原子はプラズマ内に入り、チャンバ内に導入されている反応性ガスと反応する。反応性ガスとしては、例えば酸素、ボラン、アセチレン、アンモニア、シラン、アルシン(arsene)、その他種々のガスを用いることができる。反応生成物は、プラズマに隣接して配置された基材上に堆積する。基材としてマスクした半導体ウェハを用い、その上に Al_2O_3 、 SiO_2 あるいはその他の絶縁体もしくは誘電体を堆積させることができる。場合によっては、ドリルビット、摺動板、バルブスピンドル、その他の機械部品を基材とし、その上にWC、TiN等の耐摩耗皮膜を堆積させることもできる。

【0014】既に述べたように、反応性スパッタ法による反応生成物はランダムに堆積し、対象とする基材のみを被覆するのではなく、その他にチャンバ壁やスパッタ用ターゲット等の表面も被覆する。絶縁皮膜の蓄積によりアークが発生することがあるし、スパッタ用ターゲットの有効面積が減少し、それにより時間経過と共にスパッタ速度が低下する。

【0015】本発明においては、ターゲットに印加する負の直流電圧を、アノードに対して正の直流電圧の逆バイアスパルスによって、周期的に中断させる。望ましくは、逆バイアスパルスを接地電位より $50\sim 300\text{V}$ 高いレベルとし、パルス周波数 $40\text{kHz}\sim 100\text{kHz}$ 、パルス幅 $1\text{マイクロ秒}\sim 3\text{マイクロ秒}$ で印加する。これにより低い動作周期のパルス(約 10% 以下)が得られる。この逆バイアスにより絶縁材料の両側で電荷が逆転する。これらの蓄積層はキャパシタとして作用し、導電性ターゲットが一方のプレートとなり、導電性プラズマが他方のプレートとなる。逆電圧は、キャパシタ電

6

荷の極性が(最大 -300V まで)逆転するのに十分な長い時間印加する。

【0016】順方向すなわち負のスパッタ電圧が再び印加されたときには、プラズマ内のアルゴンイオンが逆向きに帯電した誘電材料へ向けて加速されることが望ましい。これらのイオンは、電位差が付加されたことによって、より大きいエネルギーにまで加速される。その結果、堆積層の分子が再びスパッタされターゲットから離脱させられる。この過程によりターゲットから堆積層が除去され、それによりアーク発生の主因が無くなる。この過程により、ターゲットの活性スパッタ表面もできる限り大きく残る。

【0017】この過程により、反応性スパッタの場合も単なるスパッタの場合も、ターゲット表面の他の絶縁汚染物質も除去する。以下に、添付図面を参照して、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

【0018】

【実施例】先ず図1において、直流スパッタ装置10はプラズマチャンバ12および調整機能付直流電源14を備えている。真空ポンプ(図示せず)で排気したプラズマチャンバ12に、制御された量の貴ガス、典型的にはアルゴンを供給する。チャンバ12内に配置した導電性ターゲット16がカソードとして作用する。このターゲット16は電源14のマイナス端子に接続してある。ターゲット16としては、アルミニウム、タングステン、シリコンその他の導電材料の平板を用いることができる。チャンバ12内に配置したアノード18は電源14のプラス端子に接続してある。アノードの表面積はターゲット16に対して相対的に大きくてよい。流量を調整した反応性ガスをガス導管20からチャンバ12内に送り込み、ターゲットから解放されたターゲット材料原子と反応させる。アノード18とターゲット16の間の空間にある貴ガス中にプラズマ22が生成し、被覆する基材24はチャンバ12内でプラズマ22と隣接する位置に配置する。本プロセスにおいて基材は受動的(不活性)な存在であり、被覆したい部品あるいは部材なら何でもよい。例えば、軸受等の鋼製機械部品を基材とし、反応性スパッタにより硬質耐摩耗皮膜として窒化チタン層を堆積させることができる。あるいは半導体ウェハを基材として、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム等の誘電層を堆積させることもできる。

【0019】スパッタ装置内に、ターゲットの熱を除去するための適当な手段を備えることもできる。実際に皮膜堆積を行うには、プラズマ22の点火が必要である。プラズマを発生させるには、スパッタガスすなわちアルゴンの少なくとも一部分が電離(イオン化)するのに十分な高電圧を、アノード18とカソードすなわちターゲット16との間の空間に印加する。

【0020】強い電界によりガス原子の外殻電子が剥ぎ取られ、 Ar^+ 等のアニオンと電子とが生成する。これ

7

により、直流電源14から定常印加電流を供給される定常状態が形成される。陽イオン Ar^+ は定常状態の電界によって加速されてターゲット16（すなわちカソード）に到達し、ターゲット中の電子と再結合する。スパッタ効果を得るには、イオンがターゲット16に衝突したときイオンの運動エネルギーによってターゲット材料原子が叩き出されるように十分なエネルギーをイオンに付与する。叩き出された（解放された）ターゲット原子はプラズマ中に入り、チャンバ内に導入されている反応性ガスと反応する。この反応の生成物が、その場にある種々の表面に堆積し、望ましくは基材24上に堆積する。反応生成物はプラズマチャンバ内の他の表面と同様にターゲット16にも堆積する。ターゲット上に絶縁堆積層が蓄積すると、アーク発生等の問題が生ずる。

【0021】スパッタ過程を制御するには、電圧、電流、および電流密度を制御することが必要である。スパッタには電流が必要であり、他の条件が同じならば、電流の増加に比例してターゲット上への Ar^+ イオンの衝突が増加する。したがって、堆積速度を高くするには電流を大きくする必要がある。

【0022】ターゲットの材質によって、印加する電圧レベルを変える必要がある。例えば、金の原子はアルミニウムの原子に比べて非常に重いので、ターゲットから原子を叩き出すのに必要なエネルギーも大きい。金ターゲットやアルミニウムターゲットを用いることができる典型的な直流スパッタ法においては、アルミニウムの場合に必要な電圧は約450Vであるのに対し、金の場合にはそれよりもかなり高い700Vが必要である。したがって、プラズマは生成するがイオンのエネルギーが不十分でスパッタは起きない下限の電圧が存在する。各プロセスには、ターゲット材料によって異なるスパッタ電圧の下限がある。

【0023】電流密度は重要なファクターであり、制御する必要がある。スパッタプロセスでは、堆積速度を最大にしたいが、同時にアーク放電も回避する必要がある。プラズマの電流密度がいわゆるスーパーグロー放電領域内に入るときが、堆積速度の上限である。これを説明するために、プラズマ内の電流密度とプラズマ両端での電圧降下との関係を図2に示す。この曲線はいわゆるパッション曲線（Passione curve）である。

【0024】図2の左端にある初期領域はプラズマの点火前で、電流密度がゼロであり、点火に必要な全電圧がガス媒体に印加されていることが現れている。電流密度が低いところは点火領域として示した負抵抗領域であり、プラズマ両端の電圧が電流の増加に伴って低下し、その次がほぼ平らな領域すなわちグロー放電領域になる。更に電流密度が増加すると、スーパーグロー放電領域になる。そこではプラズマのエネルギーが更に大きくなっていて、アルゴンイオンがプラズマを貫通する際の抵抗が大きい。そしてプラズマ両端での電圧が大きくな

8

る。この領域を超えると、電流密度が非常に大きくなって、プラズマ自体によってイオンが加熱され、プラズマから熱電子と光子が発生して、イオン化の暴走に至る。それによりイオンの個数すなわちプラズマ内の電荷キャリアの個数が急激に増加する。プラズマのインピーダンスが低下し、電流が増加する。その結果、シャープな負抵抗領域が生成して、インピーダンスが非常に小さく電源の出力インピーダンスだけが電流を限定するアーク発生領域が生成する。ここで生成したアークはターゲットのピッチング（孔発生）、フレーキング（剥離）、クラッキング（割れ）や局所的過剰加熱等の致命的な影響を生じる。更に、アーク発生と同時にスパッタが停止する。

【0025】したがって、スパッタプロセスには多数のファクターが影響を及ぼし、堆積速度は電流と直接関係し、印加電圧はターゲット材料の特性によって決まり、アーク放電は過剰電圧密度状態によって直接引き起こされる。ターゲット16上に反応生成物としての絶縁物を堆積させる際に起きる問題について、図3、4、5を参照して説明する。図3に示したように、正のアノード18と負のターゲット16との間の電位差によって、アノードからターゲットまでの電界線が生成する。典型的には300～500ボルト程度の直流電圧である印加電圧 V_{APP} を電源14からアノード18とターゲット16に印加する。この例では、ターゲットはアルミニウム製であり、プラズマ22はアルゴンイオン Ar^+ で形成されており、反応性ガスとして酸素 O_2 を導入する。最初は、電界線がターゲットの表面上に概ね均一に分布していて、アルゴンイオンがターゲット16を全面にわたって叩く。アルゴンイオンが衝撃を与えた箇所では、叩かれたアルミニウム原子が運動量移動により解放される。アルゴンイオンは負のターゲット16から電子を拾い、プラズマ内の電子はアノード18内に吸収される。

【0026】解放されたアルミニウム原子はプラズマ22内に入ってプラズマ内の酸素と反応し、アルミナ Al_2O_3 を生成する。アルミナ分子は中性であり非導電性であるので、その場にある表面に接触するとそこに堆積する。アルミナの一部はターゲット16上に到着して、図4に示したように堆積層として絶縁層26を生成する。

【0027】絶縁堆積層26は誘電体すなわち絶縁体であるため、プラズマに対面している表面（図4では上面）には正の電荷が蓄積する。これにより電界線は堆積層26を迂回するように曲がる。イオンは電界線に沿って進行するので、ターゲット上の被覆されていないアルミニウムの部分に向けて加速される。アルゴンイオンはアルミニウムに衝突してこれをスパッタするが、 Al_2O_3 の部分では再スパッタすることはない。結局、アルミナはターゲット露出表面を被覆し続け、スパッタ用として有効なアルミニウム金属部分の相対的な面積は縮小し

9

てゆく。その結果、電流密度は増加するが電流の総量は減少し、堆積速度が低下する。最終的にはターゲット16のほぼ全面が被覆され、ターゲット表面の僅かな面積が被覆されずにスパッタに有効な部分となる。その結果、図5に示したように電界線が局所的なスポットに集中する。イオンがこのスポットに高電流密度の衝撃を与え、アーク放電を生ずる。

【0028】ターゲット上への絶縁層の堆積による悪影響を図7および8を参照して説明する。グロー放電またはスーパーグロー放電条件下では、プラズマ22は多数の大抵抗を並列に接続し各リード部をターゲット16の面上に均一に配置したものとして作用すると考えることができる。すなわち、プラズマは図6に示したような数千メガオームの抵抗器の群と考えることができる。絶縁材料の皮膜がターゲット表面で拡大してゆくに付て、ターゲットの有効面積は減少してゆき、究極的には小さな無被覆ギャップ28が残る。ギャップ28の電流密度はパッション曲線(Passione curve: 図2)の負抵抗領域に入り、電流経路が限定されてくる。実効的抵抗値は例えば図7に示した0.01オームにまで低下する。これらの条件下でアークが発生する。

【0029】上記の問題が発生する原因は、導電性プラズマ22が構成する電極と導電性ターゲット16が構成する電極との間に、絶縁膜26によって形成された誘電体が介在することである。絶縁膜26の上面すなわちプラズマ側表面は、正に帯電したアルゴンイオンから受け取る電荷によって、印加電圧+ V_{APP} にまで帯電する。

【0030】正に帯電したイオン同士には静電気による反発力が働くので、アルゴンイオン Ar^+ はターゲットの被覆部分から無被覆部分の方へそれていく。そのため無被覆部分での電流密度が上昇する。そのため、電流密度をスーパーグロー範囲内に保つには電流の総量を減少させなくてはならず、当然その結果堆積速度が低下する。また、アルゴンイオンがターゲット16の被覆部分からそれていくので、絶縁膜26の再スパッタはほとんど起きない。結局、絶縁膜の再堆積は減らずに続き、スパッタプロセスを停止せざるを得なくなる。

【0031】絶縁膜の領域は直流電圧が印加されたキャパシタと考えることができる。ターゲット16上の絶縁膜26は印加電圧 V_{APP} まで充電される。キャパシタが充電されると以後は電流が流れず、すなわち絶縁膜に被覆された領域はスパッタに有効ではなくなる。プラズマの電流はそれ以外の領域に向かい、ターゲット上の無被覆ギャップ28への電流密度が増加する。最終的に、反応性直流スパッタを行える限界となるパッション曲線アーク放電領域(図2)にまで電流密度が上昇する。

【0032】誘電層26の蓄積により起きるもう一つの問題は、誘電層は全印加電圧部 V_{APP} に十分耐える強度があるとは限らないことである。その場合、誘電層は貫通され破壊される。これが起きると、破壊領域に電荷が

10

大量に流入して局所的なコンダクタンスが急激に増加し、それにより局所的な電流密度が増加する。その結果、局所的なアーク発生が起きることがあり、プラズマ22が全体にアーク放電条件になることがある。

【0033】再び図2のパッション曲線を参照すると、グロー領域およびスーパーグロー領域では、プラズマ22は正の抵抗を持ち、安定した挙動を示す。たとえ局所的であれ電流密度がスーパーグロー放電限界を超えれば、アーク放電領域に入る。アーク放電はアノードとターゲットとの間の短絡に似た挙動をし、負の抵抗を示し、その電流が多くなるほど、抵抗が減少する。アーク放電を停止させるには、プラズマ内の電流密度がグロー放電領域またはスーパーグロー放電領域の値にまで減少する必要がある。

【0034】これを実行する最も確実な方法は、全ての電流をできるだけ素早く除去することである。しかし電流が再び流れ始めた場合、アーク放電の条件が再来することを防ぐものは何もない。最近の直流スパッタ用電源の多くはアーク検知回路を備えていて、アークを検知すると電流を切るようになっている。電流切断期間はアーク電流が衰微するのに十分な長さにする必要がある。これによりプラズマチャンバ12への有効正味電力が減少し得る。アーク防止のための一つの試みとして、単一極性パルスが用いられてきた。この技術は、電力供給を切断して一定の周波数(パルスレート:pulse rate)および動作周期(duty cycle)のパルスを生成させる。これにより、ターゲットには負電圧と接地電圧とが交互に印加され、その結果、正に帯電した層26の誘電材料を、あるバイアス点に関して交互に半帯電および半放電させることができる。それにより、絶縁層への電圧ストレスが減少し、絶縁層の再スパッタをある程度起こさせることができる。

【0035】図8と図9を参照してこのシステムを説明する。図8(A)および(B)に示したように、プラズマチャンバはキャパシタ回路と考えることができ、そのキャパシタ内でターゲット16は一方の電極(プレート)として作用し、絶縁材料の堆積層26はキャパシタの誘電層として作用し、プラズマ22は直列の抵抗22a且つキャパシタの他方の(正の)電極(プレート)22bとして作用する。ターゲットに印加される電圧 V_T を、印加電位 V_{APP} と接地電位(0ボルト)とを交番するパルス化直流電圧とすることができる。アノード18は接地電位になっていると考える。この従来の単一極性パルス化電源システムにおいて、キャパシタの上側プレート22bは、すなわち誘電層26は、ターゲット電位へ低下して戻ることが可能である。図8(B)において、キャパシタの上側プレートの電圧は V_{CAP} で示してある。典型的には、印加電圧は10マイクロ秒以上中斷する周波数2kHz(すなわちパルス期間500マイクロ秒)である。この技術は誘電層すなわち絶縁層26上

13

ルスレート制御回路 50 を含む部分は、標準的な電源 14 と標準的なプラズマチャンバ 12 との間に接続できるコンパクトな完成ユニットとして作製することができる。以上、望ましい実施態様を参照して本発明を説明したが、特許請求の範囲に規定した本発明の原理を逸脱することなく種々の態様が可能であることは当業者には理解されるはずである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】反応性直流スパッタ法の原理を説明するための直流スパッタ装置の模式図。

【図 2】スパッタ中のプラズマの挙動の種々の領域を示す、電圧と電流密度との関係のパッション曲線 (Passione curve)。

【図 3】スパッタ用ターゲット上への膜蓄積による悪影響を説明するための模式図。

【図 4】スパッタ用ターゲット上への膜蓄積による悪影響を説明するための模式図。

【図 5】スパッタ用ターゲット上への膜蓄積による悪影響を説明するための模式図。

【図 6】理想的なスパッタを示す模式図。

【図 7】アーク放電が発生しているスパッタを示す模式図。

【図 8】スパッタ用ターゲット上への絶縁膜蓄積がキャパシタと等価であることを示す模式図。

【図 9】従来技術による単一極性直流スパッタのパルス波形を示すチャート。

【図 10】本発明による短時間通電サイクル逆バイアス直流スパッタ法のパルス波形を示すチャート。

10

20

*

14

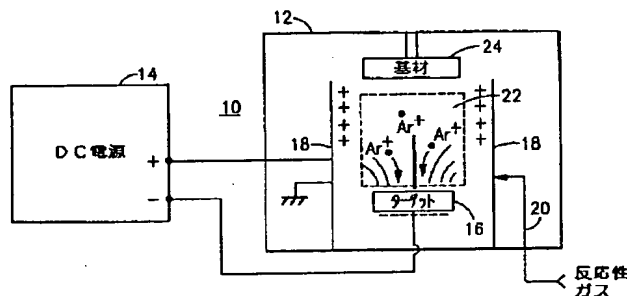
*【図 11】本発明の一実施態様による、導電性ターゲット上への絶縁膜蓄積中のプラズマ対向面での電位の挙動を示す波形チャート。

【図 12】本発明の原理による反応性直流スパッタを行うための装置の模式図。

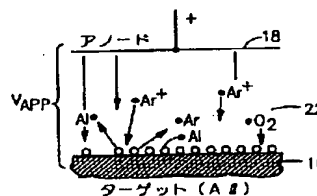
【符号の説明】

- 10…直流スパッタ装置
- 12…プラズマチャンバ
- 14…調整機能付直流電源
- 16…導電性ターゲット
- 18…アノード
- 20…ガス導管 (反応性ガス用)
- 22…プラズマ
- 22a…抵抗
- 22b…正の電極 (プレート)
- 24…基材
- 26…絶縁層 (ターゲット上に堆積したもの)
- 28…無被覆ギャップ (ターゲット上で絶縁層に被覆されず残った露出表面)
- 30…逆バイアス電圧 $+V_{REV}$ のパルス
- 32…衰微現象を示す曲線
- 38…ガス導管 (スパッタガス用)
- 40…逆バイアスパルス装置
- 42…可変直流電源
- 44…制御スイッチ
- 46…一対の直列インダクタンス
- 48…別の一対の直列インダクタンス
- 50…パルス幅・パルスレート制御回路

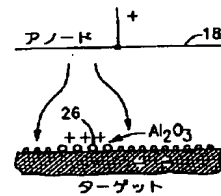
【図 1】



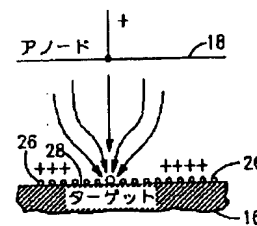
【図 3】



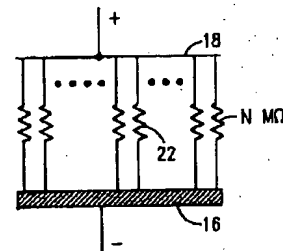
【図 4】



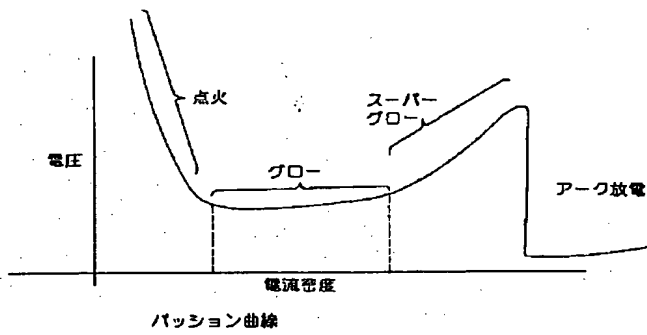
【図 5】



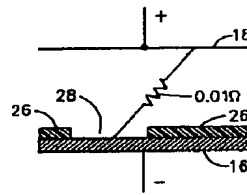
【図 6】



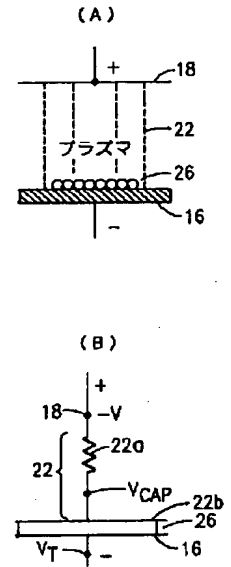
【図 2】



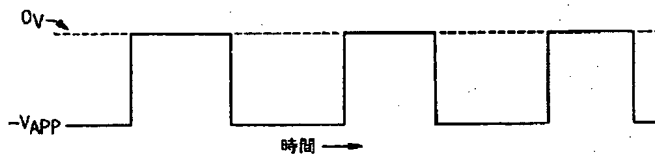
【図 7】



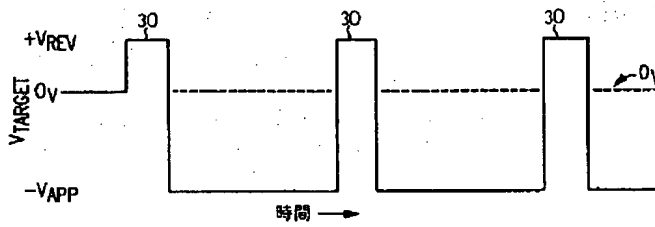
【図 8】



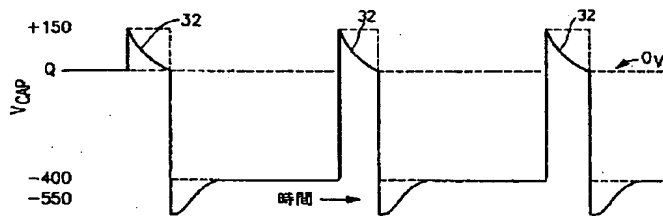
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

